

Dairesel Delikli Kompozit Plakaların Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi

Ümran ESENDEMİR^{1*}, Özgür BAŞARAN²

^{1*} Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6947-9310), umranesendemir@sdu.edu.tr

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7654-5603), ozgur.bsm.07@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 11.04.2023 ve Kabul Tarihi 17.07.2023)

(DOI: 10.35354/tbed.1280285)

ATIF/REFERENCE: Esendemir, Ü., Başaran, Ö., (2023). Dairesel Delikli Kompozit Plakaların Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 13 (2), 20-27.

Öz

Bu çalışmada dairesel delikli kompozit plakaların darbe davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla; deliksiz, merkezinin iki tarafından farklı mesafelerde (10mm ve 15mm) 5 mm çapında iki dairesel delik bulunan plaka ve merkezinin bir tarafından 15 mm mesafede 5 mm çapında delik bulunan dört farklı geometrideki kompozit plakalar üretilmiştir. 15J ve 25J darbe enerjisi alan numunelerin kuvvet-çökme, hız-zaman, absorbe edilen enerji-zaman ve kuvvet-zaman grafikleri çizilmiştir. Delikli numunelerden elde edilen sonuçlar ile deliksiz numunelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu deneysel çalışma neticesinde, aynı darbe enerjisi altında delikli ve deliksiz numunelerde darbe sonrası meydana gelen hasarlar, grafikler ve tablolar yardımıyla gözlenmiş olup delikli kompozitlerdeki hasar miktarlarının deliksiz kompozitlerdeki hasar miktarlarından daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca; aynı düşük darbe enerjisi altında delikler arası mesafe azaldıkça darbe dayanımının yaklaşık %19 oranında azaldığı ve hasar alanının arttığı görülmüştür. Fakat 15J ve 25J darbe enerjisine maruz kalan, farklı mesafelerde açılan tek ve çift dairesel delikli kompozit numunelerde ve deliksiz numunelerde delinme hasarının oluşmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzemeler, Düşük hızlı darbe, Darbe hasarı, Delikler.

Experimental Investigation of Low-Speed Impact Behaviors of Circular Hole Composite Plates

Abstract

A plate with two circular holes of 5 mm diameter drilled at different distances (10mm and 15mm) from both sides of its center was used in this study to examine the impact behavior of circular perforated composite plates. A hole of 5 mm diameter was drilled at a 15 mm distance from the center of four different geometries of composite plates. Force-slump, velocity-time, absorbed energy-time, and force-time graphs of samples were performed under 15J and 25J impact energy for both the perforated samples and the non-perforated samples. As a result of this experimental study, the damage that occurred in the perforated and the non-perforated samples under the same impact energy was observed while the damage amount in the perforated composites was higher than the damage amount in the non-perforated composites. It was also observed that the impact strength decreases at about %19 and the damage area increases as the distance between the holes decreases under the same low impact energy. But; no puncture damage was observed both in the single and double circular holes drilled at different distances on the composite plates and in the non-perforated composite plates under 15J and 25J impact energy.

Keywords: Composite materials, Low velocity impact, Impact damage, Holes.

* Sorumlu Yazar: umranesendemir@sdu.edu.tr

1. Giriş

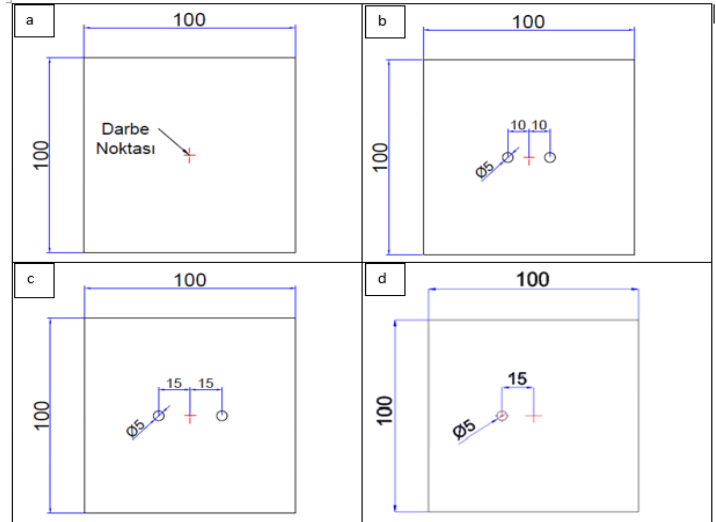
Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Kompozit malzemeler kullanıldıkları alanlara göre düşük ve yüksek darbe enerjilerine maruz kalabilmektedirler. Çarpma olayı alet düşürme gibi servis ve bakım sırasında oluşabileceği gibi üretim esnasında da olabilir. Bu hasarlar yüzeyde küçük girintiler şeklinde görülürken yapıda matris çatlağı, fiber kırılması şeklinde görülür. Kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe davranışları üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Öndürücü ve Karacan [1] tabakalı cam elyaf/epoksi kompozitlerin darbe davranışını deneysel olarak incelemişler ve 12 tabakalı numunelerin darbe dayanımlarının 8 tabakalı numunelere göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Esendemir ve Caner [2] cam elyaf takviyeli tabakalı kompozit plakaların darbe davranışına plaka kalınlığının etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında kalın plakaların ince plakalara göre darbe dayanımlarının daha fazla, çökme değerlerinin ise daha az olduğunu belirtmişlerdir. Agrawal ve arkadaşları [3] fiber takviyeli polimer matris kompozitlerin darbe davranışları üzerine literatur taraması yapmışlardır. Test parametreleri ve standart parametrelerin yanı sıra vurucu şekli, vurucu ağırlığı, darbe hızı, ortam şartlarının darbe davranışı üzerindeki etkileri belirtilmiştir. Roy ve Chakraborty [4] düşük hızlı darbe uygulanmış tek ve hibrit kompozit delikli plakaların delaminasyonunu sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişler ve delik içeren kompozit plakalarda delaminasyonun deliklerin kenarlarına yakın arayüzeyde daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Zhao ve arkadaşları [5] kompozit malzemelerin delaminasyon davranışları üzerine farklı sıcaklıklardaki deniz suyunun etkilerini incelemişler ve deniz suyu bekletilen numunelerde delaminasyonun büyüdüğünü belirtmişlerdir. Fidan ve arkadaşları [6] cam fiber takviyeli polyester kompozitte tekrarlı düşük hızlı darbe testleri sonrası kompozitin iç apısında matris çatlağı, delaminasyon ve fiber kırılmaları olmak üzere üç farklı hasar tipinin oluştuğunu belirtmişlerdir. Esendemir ve arkadaşları [7] hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerine ve darbe davranışına fonksiyonlendirilmiş nanokil ilavesinin etkisini incelemişlerdir. Nanokilin tabakalar arası kayma dayanımını artırarak çökme ve fiber-matriks ayrılmasını azalttığını belirtmişlerdir. Bu azalmanın ise en belirgin ağırlıkça %1 nanokil eklenmesiyle elde edilen hibrit kompozit numunelerde görüldüğünü belirtmişlerdir. Luo [8] bir delikli karbon fiber takviyeli epoksi kompozit plakaların darbe davranışını incelemiştir. İncelemede bir deliğin darbe bölgesinde ve civarında oluşturduğu hasar ele alınmıştır. Junjing ve arkadaşları [9] bir delikli karbon fiber takviyeli polimer plakaların basma özelliklerinin araştırmışlardır. Gerilme yığılması, lif kopması ve gerilme-yük bağıntıları deneysel sonuçlara göre analiz etmişlerdir. Guo ve arkadaşları [10] farklı geometrilerde delik (dairese, kare) içeren 3B örgü kompozitlerin hasar mekanizmalarını ve çekme dayanımlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Delik şekli; gerilme-şekil değiştirme dağılımlarının önemli ölçüde etkilediğini ancak mukavemetini etkilemediğini belirtmişlerdir. Ayten ve arkadaşları [11] aramid takviyeli polyester kompozit laminaların darbe davranışına yüzey geometrisinin (silindirik, eliptik ve küresel) etkisini nümerik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Darbe testleri sonucunda eliptik numunelerin daha yüksek enerji absorbladığı görülmüştür.

Bilindiği üzere cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler havacılık alanında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Uçaklarda cihazları sabitleme, boru hattı geçişi gibi yerlerde delik açmak gerekebilmektedir. Delik açılan bölgeler düşük hızlı darbelere maruz kalabilmekte ve dolayısıyla elyafların kesilmesine, matrisin çatlamasına ve bu bölgede gerilme oluşmasına sebep olabilmektedirler. Bu çalışmada kompozit plakaların darbe davranışlarına; darbe noktasına yakın tek ve çift deliklerin etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Su altındaki deniz araçları denizaltı hayvanlarına, su altında yüzen molozlara, buz kütlelerine, teknelere çarparak düşük hızlı darbelere maruz kalabilmektedirler.

2. Materyal ve Metot

IZORELL(Kompozit İzole Malzemeler, İzmir) firmasında darbe testleri için 8 tabakalı cam elyaf takviyeli dokuma kompozit ve [+45/-45/0/90]_s dizilimine sahip kompozit plakalar üretilmiştir. Üretilen 2 mm kalınlığındaki kompozit plakalar 100x100 mm boyutlarında kesilmiş ve sonra kesilen plakaların darbe noktasından farklı uzaklıklarda 5 mm çapında delikler açılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Numunelerin Geometrisi (boyutlar mm)

Her bir test parametresi için 3 adet numune hazırlanmıştır. Tablo 1’de darbe test numunelerine ait test parametreleri verilmiştir.

Darbe testleri SDÜ YETEM (Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi) bulunan Instron Ceast 9350 darbe cihazında ISO 6603-2 standardına göre yapılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında numunenin tam ortasına darbe ucu düşey olacak şekilde serbest bırakılarak deney gerçekleştirilmiştir. Her bir parametre için 3 kez darbe testi tekrarlanarak ortalaması alınmıştır. Darbe test cihazında kullanılan vurucunun ucu yarım küre şeklinde olup 20 mm çapa sahiptir.

Tablo 1. Test Parametreleri

Adlandırma	Numune Tipi	Darbe Enerjisi (J)	Plaka Geometrisi
15CY	Cam elyaf takviyeli epoksi örgü kompozit	15	Deliksiz
15CYH10-2B	Cam elyaf takviyeli epoksi örgü kompozit	15	Plaka merkezinin iki tarafından 10 mm mesafede 5 mm çapında delik
15CYH15-2B	Cam elyaf takviyeli epoksi örgü kompozit	15	Plaka merkezinin iki tarafından 15 mm mesafede 5 mm çapında delik
25CY	Cam elyaf takviyeli epoksi örgü kompozit	25	Deliksiz
25CYH15-2B	Cam elyaf takviyeli epoksi örgü kompozit	25	Plaka merkezinin iki tarafından 15 mm mesafede 5 mm çapında delik
25CYH15-1B	Cam elyaf takviyeli epoksi örgü kompozit	25	Plaka merkezinin bir tarafından 15 mm mesafede 5 mm çapında delik
25ACY	Açılı cam elyaf takviyeli epoksi kompozit [+45/-45/0/90] _s	25	Deliksiz
25ACYH15-2B	Açılı cam elyaf takviyeli epoksi kompozit [+45/-45/0/90] _s	25	Plaka merkezinin iki tarafından 15 mm mesafede 5 mm çapında delik

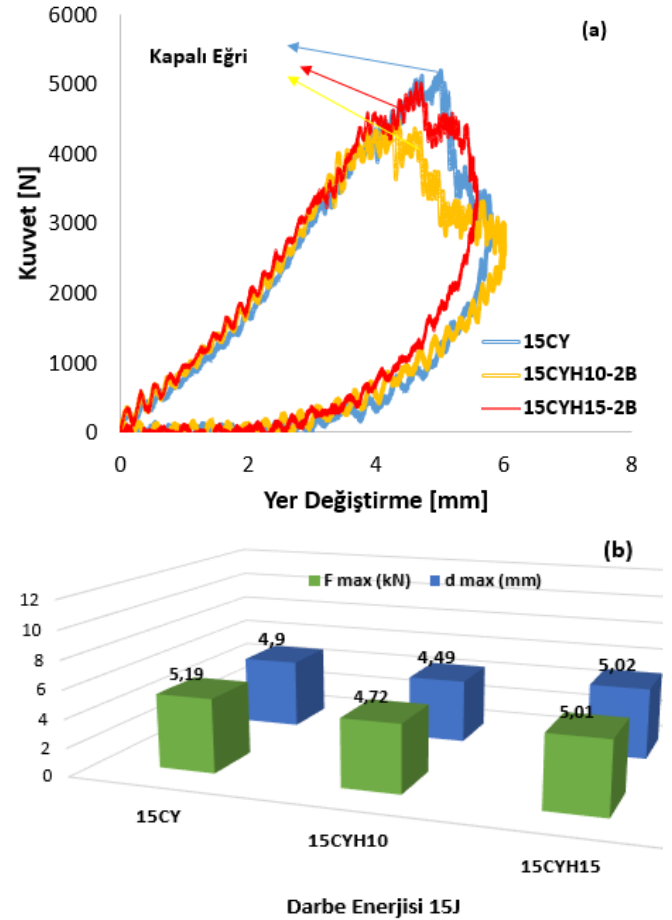
3. Deneysel Çalışma

3.1. Delik Mesafenin Etkisi

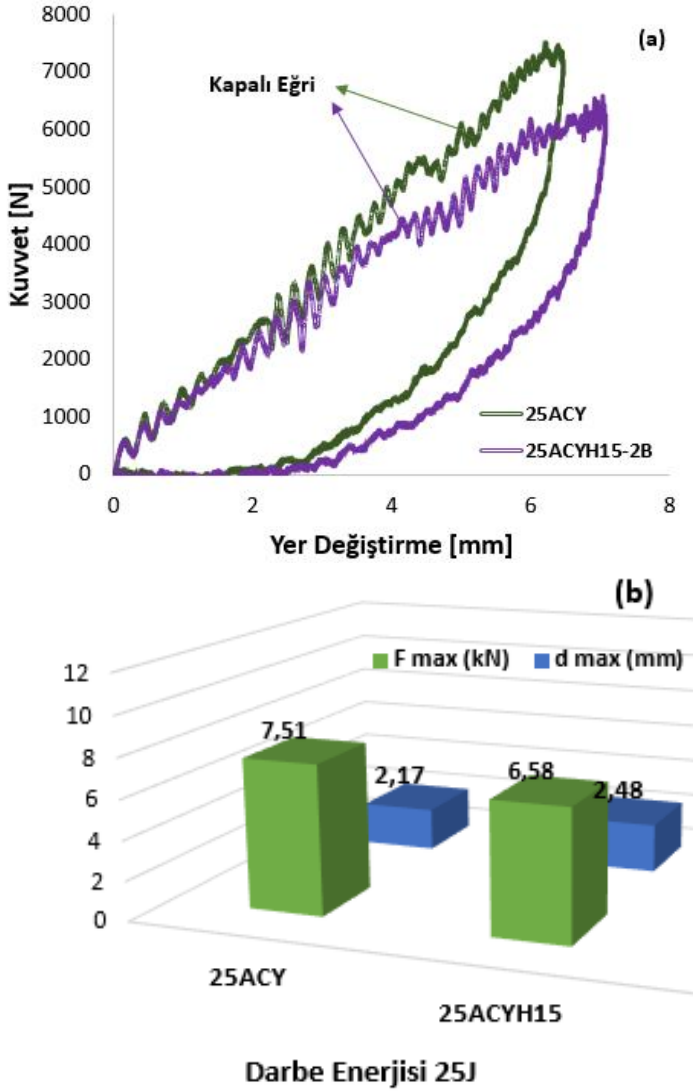
Cam elyaf takviyeli örgü kompozit numunelere merkezden iki farklı uzaklıkta (10 mm ve 15 mm) 5 mm çapında delik açılarak 15J darbe enerjisi uygulanmıştır.

Şekil 2a'da iki farklı mesafelerdeki plakalara 15J darbe enerjisi uygulanmış kompozit numunelere ait kuvvet-yer değiştirme değerleri verilmiştir. Kuvvet-yer değiştirme eğrilerinden görüldüğü üzere delikler arası mesafe azaldıkça yük taşıma kapasitesinin azaldığı fakat eğri tipinin (kapalı eğri) değişmediği ve ayrıca delikli numunelerin dayanımının deliksiz numunelere göre daha az olduğu görülmüştür. Delik açılan numunelere düşük darbe enerjisinin uygulanması maksimum çökme değerlerinde ihmal edilebilir derecede değişikliğe neden olmuştur (Şekil 2b).

Gonzales ve arkadaşları [12] cam elyaf takviyeli epoksi kompozit ve fiber takviyeli metal matris kompozit delikli ve deliksiz plakaların darbe davranışını incelemişlerdir. Bu amaçla numune merkezinin deliksiz her iki tarafında 12 mm ve 18 mm mesafelerde 6 mm çapında iki delik bulunan üç farklı geometrideki plakalara darbe enerjisi uygulamışlardır. Yük-yer değiştirme eğrilerinde çok büyük bir fark olmadığı eğri tiplerinin aynı kaldığı belirtilmiştir. Bu sonuçların bizim çalışmamızla uyumlu olduğu görülmüştür. Darbe enerjisi uygulanan numunelerde hasar üç farklı şekilde meydana gelir. Bunlar; geri sekme (kapalı eğri), nüfuziyet (saplanma) ve delinme (açık eğri) hasarıdır. Geri sekmede numune darbe enerjisinin bir kısmını absorbe ederken, diğer kısmını darbe ucunun numune yüzeyinde geri sekmesinde kullanır. Nüfuziyet darbe ucu enerjisinin neredeyse tümünü numuneye aktararak numune ile beraber hareket eder. Delinmede ise temas kuvveti maksimum değere yükselir sonra minimuma düşer ve delinme meydana gelir [13].



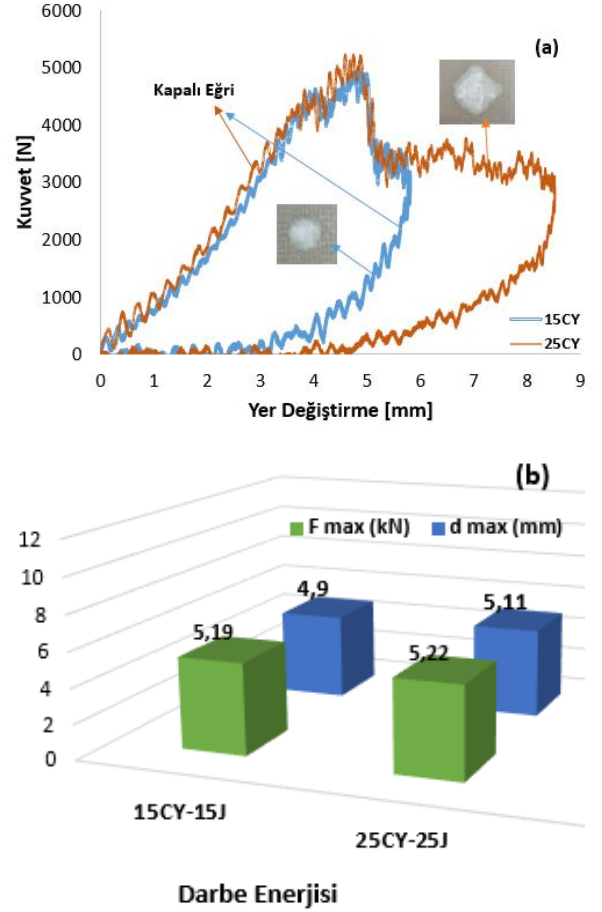
Şekil 2. 15J Darbe Enerjisi Altındaki Deliksiz, Farklı Mesafelerdeki İki Delikli Cam Elyaf Takviyeli Örgü Kompozitin (A) Kuvvet-Yerdeğiştirme (b) Maksimum Kuvvet ve Çökme Değerleri



Şekil 3. 25J Darbe Enerjisi Altındaki Açılı [+45/-45/0/90]s Deliksiz ve İki Delikli Cam Elyaf Takviyeli Örgü Kompozitin (a) Kuvvet-Yerdeğiştirme (b) Maksimum Kuvvet ve Çökme Değerleri

([+45/-45/0/90]s) oryantasyon açısına sahip cam elyaf takviyeli kompozit numunelere merkezden 15 mm uzaklıkta 5 mm çapında delik açılarak 25J darbe enerjisi uygulanmıştır. Darbe enerjisi uygulanmış kompozit numunelere ait kuvvet-yer değiştirme değerleri ve maksimum kuvvet, maksimum çökme grafikleri Şekil 3'de verilmiştir. Kuvvet-yer değiştirme eğrilerinden görüleceği üzere delikli numunelerin deliksiz numuneye göre yük taşıma kapasitesinin daha az olduğu fakat eğri tipinin (kapalı eğri) değişmediği görülmüştür.

Şekil 4'te farklı darbe enerjileri uygulanan numunelerin kuvvet-yerdeğiştirme grafiği ve maksimum kuvvet ve maksimum çökme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4. Farklı Darbe Enerjileri Uygulanan Numunelerin (a) Kuvvet-Yer değiştirme Eğrileri, (b) Maksimum Kuvvet ve Maksimum Çökme Grafiği

Şekil 5'te 15J darbe enerjisi altında deliksiz ve çift delikli cam elyaf takviyeli örgü numunelerin fotoğrafları gösterilmiştir. Şekil 5'te de görüleceği üzere birbirine daha yakın delikli (h=10mm) numunelerin hasar alanı daha fazladır.



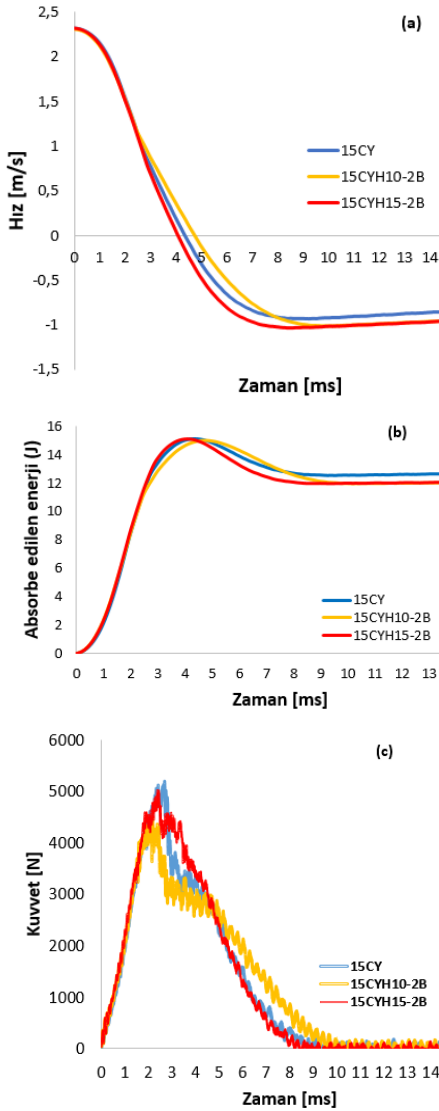
Şekil 5. 15J darbe enerjisine maruz deliksiz ve çift delikli cam elyaf takviyeli örgü numunelerin fotoğrafları

Kompozit malzemeler uygulanan darbe enerjisine bağlı olarak matrislerin çatlaması, fiber matris ara yüzey hasarı, fiberlerin kırılması, delinme gibi değişik hasarlara uğrayabilirler. Bu hasarlar kuvvet-çökme, hız-zaman, absorbe edilen enerji-zaman ve kuvvet-zaman eğrileri gibi eğriler yardımıyla da gözlemlenebilir.

Şekil 6'da 15J darbe enerjisi altındaki farklı geometrilerdeki numunelerin hız-zaman, absorbe edilen enerji-zaman ve kuvvet-zaman eğrileri gösterilmiştir. Hız-zaman grafiklerinde görüleceği üzere 15J darbe uygulanmış üç farklı geometrideki kompozit numunelerde geri sekme oluşmuştur. Geri sekme durumunda vurucunun hızı çapma yönüne ters olduğu için negatif değer almaktadır. 15J darbe enerjisi uygulanmış üç farklı geometrideki kompozit numunelere ait kuvvet-zaman grafikleri incelendiğinde

kuvvet eğrileri zamanla parabolik bir görüntü çizmektedir. Uygulanan darbe enerjisinin artmasıyla numuneye etkiyen kuvvet de artmaktadır. 15J darbe enerjisi uygulanmış üç farklı geometrideki kompozit numunelere ait absorbe edilen enerji-zaman grafikleri incelendiğinde geri sekme oluştuğu anlaşılmaktadır.

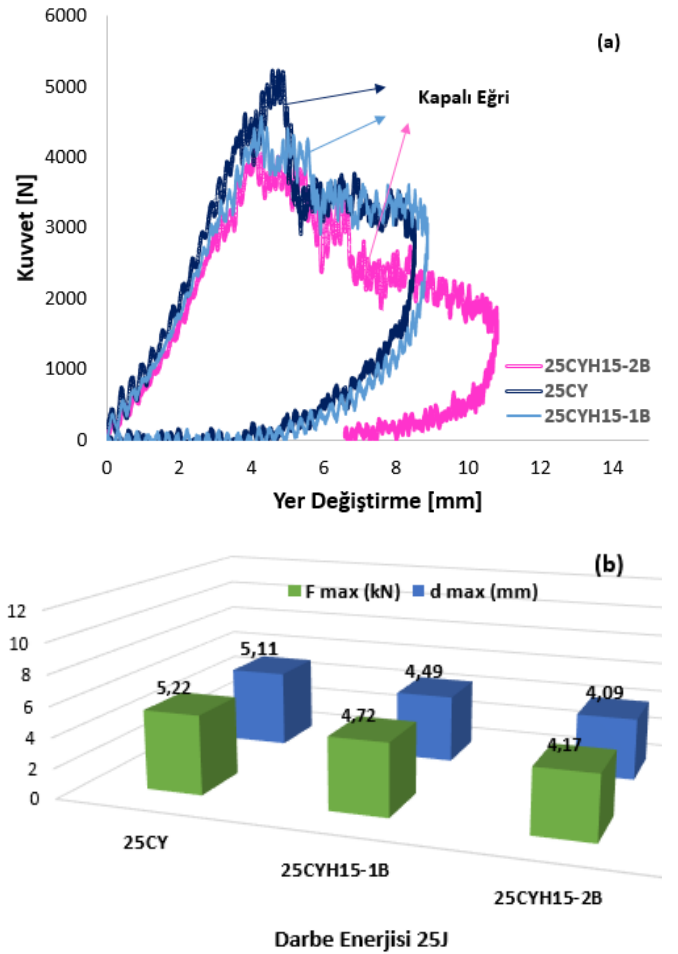
Absorbe edilen enerji, kuvvet-çökme (F-d) eğrisinin altında kalan alandan hesaplanmaktadır. Vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi durumunda vurucunun sahip olduğu enerjinin hepsi numune tarafından absorbe edilemez. Absorbe edilemeyen darbe enerjisi de vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi için harcanır. Vurucunun numuneye saplanması durumunda ise vurucunun sahip olduğu darbe enerjisinin hepsi numune tarafından absorbe edilir ve eğrinin son kısmı hemen hemen yatay olarak devam eder. Vurucunun numuneyi delip geçmesi durumunda ise, vurucu ile numune arasındaki sürtünme kısmının altında kalan alanın da darbe cihazının programı tarafından hesaplanan absorbe edilen enerji miktarına katılmasından dolayı eğri yukarı doğru yönelmektedir. Bu sürtünme kısmının altında kalan alanın toplam absorbe edilen enerji miktarından çıkarılması gerekir [14].



Şekil 6. 15J Darbe Enerjisi Altındaki Farklı Geometrilere Ait Numunelerin a) Hız-Zaman b) Absorbe Edilen Enerji-Zaman, c) Kuvvet- Zaman Eğrileri

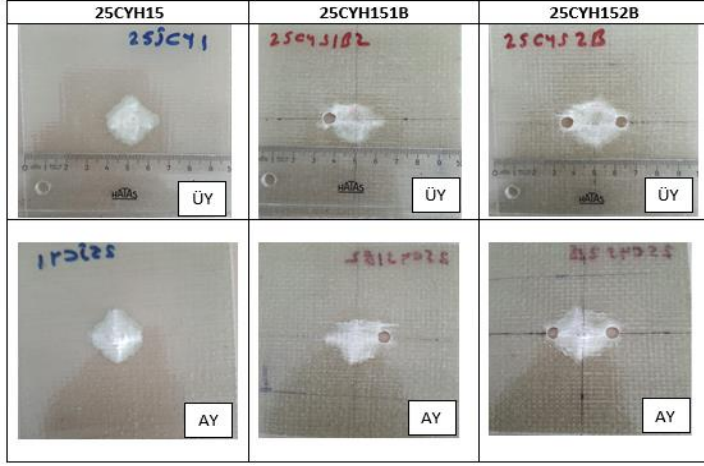
3.2. Delik Sayısının Etkisi

Cam elyaf takviyeli örgü 8 tabakalı numunelere numune merkezinin bir tarafından (Şekil 1d) ve her iki tarafından (Şekil 1c) 15 mm mesafede 5 mm çapında delik açılmıştır. İki farklı geometrideki numunelere 25J darbe enerjisi uygulanarak delik sayısının kompozit numunelere olan darbe davranışı incelenmiştir. Bu numunelere ait kuvvet-yer değiştirme değerleri ve maksimum kuvvet, maksimum çökme grafikleri Şekil 7’de verilmiştir. Kuvvet-yer değiştirme eğrilerinden görüleceği üzere delikli numunelerin deliksiz numuneye göre yük taşıma kapasitelerinin daha az olduğu görülmüştür. Bu azalma iki (çift) delikli numunelerde daha fazladır. Fakat deliksiz, bir delikli ve iki delikli numunelerde eğri tipi değişmemiştir. Ayrıca delik sayısının artması ile maksimum kuvvet değerleri düşmekte fakat çökme değerlerinde kayda değer bir değişim görülmemiştir. Amaro ve arkadaşları [15] [452,902,-452,02]s oryantasyon açısına sahip tek yönlü cam fiber takviyeli kompozit plakaların darbe davranışına delik sayısının etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla deliksiz, plaka merkezinin bir tarafından ve her iki tarafından 10 mm mesafede 4 mm çapında delikli olmak üzere üç farklı geometrideki plakalara 6J darbe enerjisi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda; tek delikli numunelerdeki maksimum kuvvet değerinde deliksiz numuneye göre %5,4 oranında azalma görülürken bu azalma iki delikli numunelerde %6,9’dur. Deliklerin varlığının yük-yer değiştirme eğrileri üzerindeki etkisinin çok fazla olmadığı belirtilmiştir. Bu sonuçların bizim çalışmamızla uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 7. 25J Darbe Enerjisi Altındaki Deliksiz, Bir ve İki Delikli Cam Elyaf Takviyeli Örgü Kompozitin (a) Kuvvet-YerDeğiştirme (b) Maksimum Kuvvet Ve Çökme Değerleri

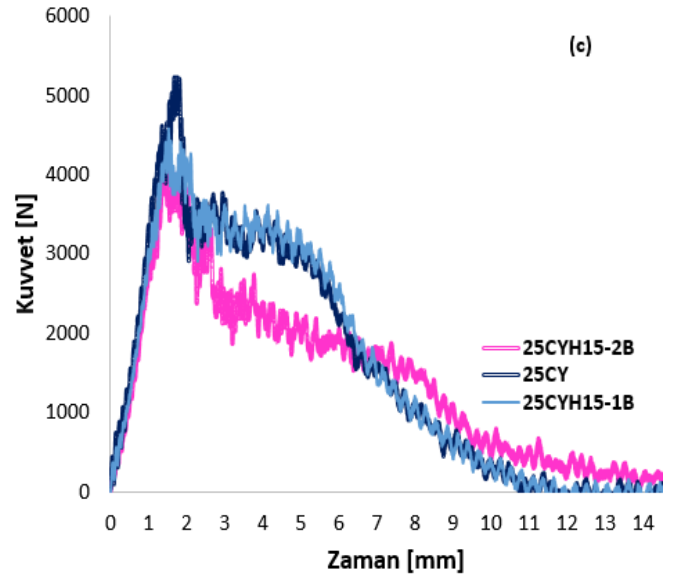
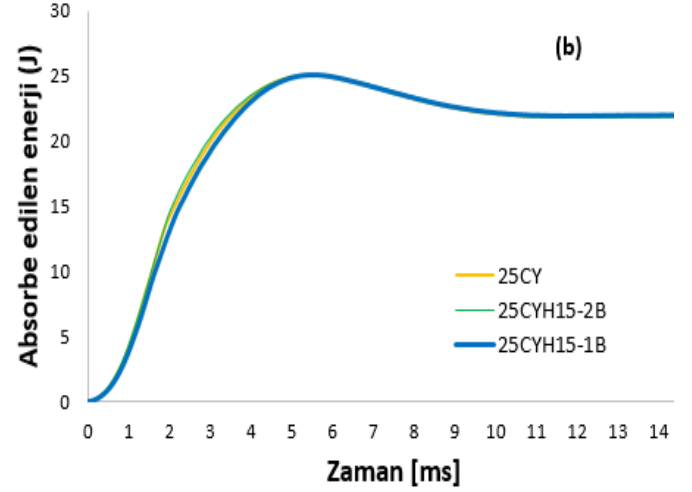
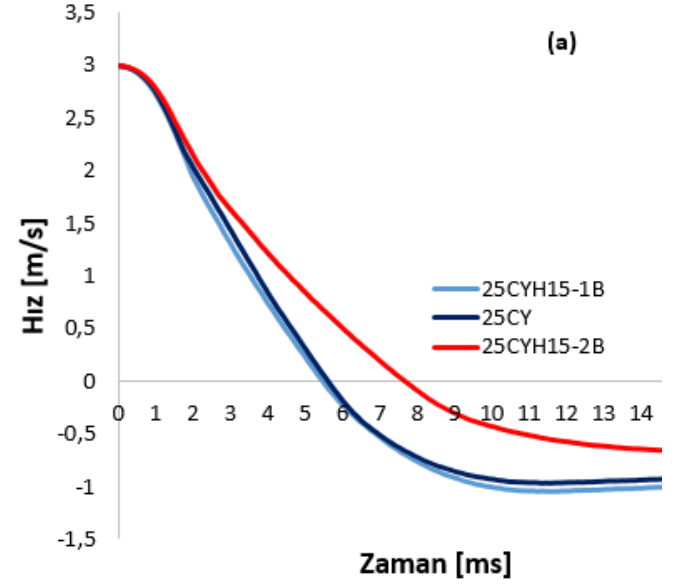
Şekil 8'te 25J darbe enerjisi uygulanmış deliksiz, tek ve çift delikli numunelerin üst ve alt yüzeylerinin fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 8. 25J Darbe Enerjisi Altındaki Deliksiz, Tek ve Çift Delikli Cam Elyaf Takviyeli Örgü Kompozit Numunelerin Üst (ÜY) ve Alt (AY) Yüzeylerin Fotoğrafları

Şekil 8'de görüleceği üzere delik sayısı arttıkça hasarın deliksiz numuneye göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca her üç durum içinde darbe uygulanmış üst yüzeydeki hasarın darbe uygulanmamış alt yüzeye göre daha az olduğu görülmüştür. Sabancı ve Karakuzu [16] çalışmalarında eğilmeden dolayı numunenin darbesiz yüzey alanının darbeli yüze göre çok daha büyük olduğunu belirtmişlerdir.

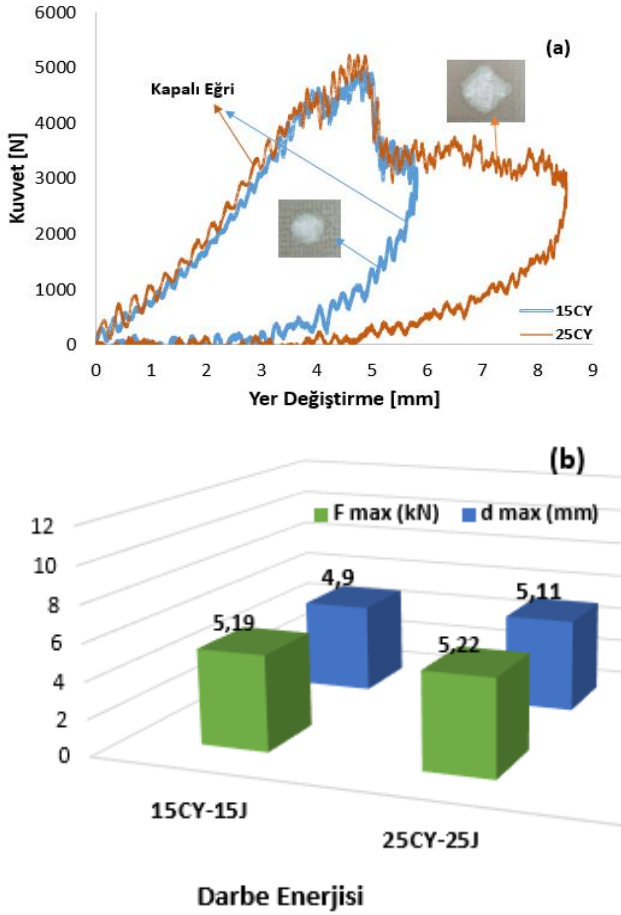
Şekil 9'da 25J darbe enerjisi altındaki farklı geometrilerdeki numunelerin hız-zaman, absorbe edilen enerji-zaman ve kuvvet-zaman eğrileri gösterilmiştir. Burada da Şekil 6'daki duruma benzer grafikler elde edilmiştir. Şekil 5 ve Şekil 8'den görüleceği üzere düşük darbe enerjisi uygulanmış kompozit plakalarda boşluğun olması grafik tipini değiştirmemiştir.



Şekil 9. 25J Darbe Enerjisi Altındaki Farklı Geometrilerdeki Numunelerin a) Hız-Zaman b) Absorbe Edilen Enerji-Zaman, c) Kuvvet-Zaman Eğrileri

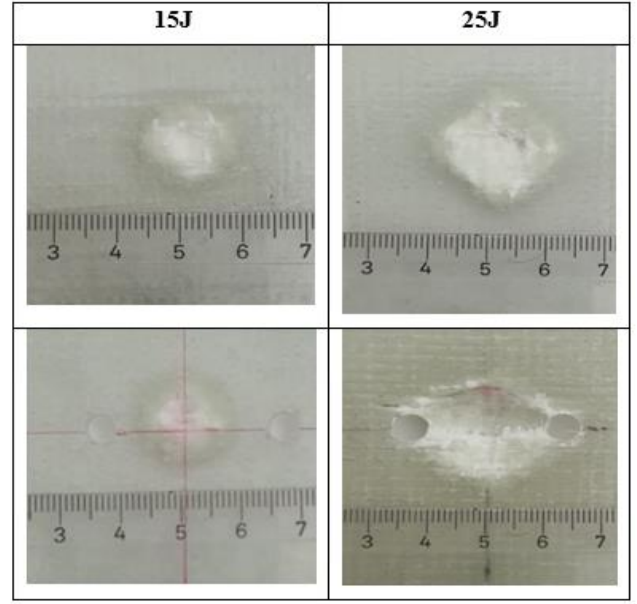
3.3. Darbe Enerjisinin Etkisi

Şekil 10'de 15J ve 25J darbe enerjileri uygulanmış kompozit numunelere ait kuvvet-çökme değerleri verilmiştir. Kuvvet-çökme eğrilerinden görüleceği üzere darbe enerjisi arttıkça çökme miktarı ve maksimum kuvvet değeri artmaktadır (Şekil 10b). Şekil 10a'dan görüleceği üzere darbe enerjisi uygulanan numunelerde kapalı eğri oluşmuştur. Mathivanan ve Jerald [17], 3.14J, 4.71J, 6.28J, 7.8J ve 15.7J darbe enerjisi uygulanan örgü cam fiber takviyeli epoksi kompozit malzemelerin darbe davranışını deneysel olarak incelemiştir ve darbe enerjisi arttıkça kompozit numunenin aldığı hasarın arttığı belirtilmiştir. Bu sonuçların bizim çalışmamızla uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 10. Farklı Darbe Enerjileri Uygulanan Numunelerin Maksimum Kuvvet ve Maksimum Çökme Değerleri

15J darbe enerjisinde boşluğun varlığı hasar alanını etkilemezken 25J darbe enerjisinde delik hasar alanını artırmaktadır (Şekil 11). Gonzales ve arkadaşları [12] çalışmalarında düşük darbe enerjilerinde deliğin varlığı hasar alanını etkilemezken büyük darbe enerjilerinde deliğin hasar alanını artırdığını belirtmişlerdir. Bu sonuçların bizim çalışmamızla uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 11. Deliksiz ve Delikli Cam Elyaf Takviyeli Örgü Numunelerin 15J ve 25J Darbe Enerjilerindeki Hasarlarının Fotoğrafları

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada; düşük darbe uygulanmış kompozit plaka üzerine açılan dairesel deliğin etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla; deliksiz, merkezden iki farklı uzaklıkta, 5 mm çapında tek ve çift delik içeren dört farklı geometrideki kompozit numunelere iki farklı darbe enerjisi uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Aynı darbe enerjisi altında (15J) delikler arası mesafe azaldıkça yük taşıma kapasitesi azalmaktadır. Numune merkezinin her iki tarafından h=10 mm de açılan delikli numunelerin taşıyacağı maksimum yük değeri deliksiz numunelere göre %18.6 azalırken bu oran h=15 mm için %3'tür. Delikler arası mesafe arttıkça darbe dayanımına deliğin etkisinin önemi olmamaktadır.

- Birbirine yakın delikli numunelerde hasar alanı daha fazladır. Yani delikler arası mesafe azaldıkça hasar alanı artmaktadır.

- Aynı darbe enerjisi altında (25J) delikli numunelerin deliksiz numuneye göre yük taşıma kapasitelerinin daha az olduğu görülmüştür. Bu azalma oranı çift delikli numunelerde daha fazladır. Tek delikli numunelerdeki maksimum kuvvet değerinde deliksiz numuneye göre %12 oranında azalma görülürken bu azalma iki delikli numunelerde %20'dir.

- 15J ve 25J darbe enerjilerinde deliksiz, tek delikli ve çift delikli numunelerde kapalı eğri tipi görülmüştür.

- Hasar alanı, darbe uygulanmayan alt yüzeyde daha fazladır.

- Farklı mesafelerde ve farklı sayıda delik açılan numunelere darbe enerjisinin uygulanması eğri tipini değiştirmemiştir.

- Kompozit plakaların delaminasyon özelliklerini darbe enerjisi ve delikler etkilemektedir.

Bu sonuçların kompozit yapılarıdaki deliklerin konumlarını daha iyi tasarlamak için faydalı olabileceği kanaatine varılmıştır.

Kaynakça

- [1] Öndürücü, A., Karacan, A., (2018). Tabakalı Cam Elyaf/Epoksi Kompozitlerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 6(3), 435 – 447.
- [2] Esendemir, Ü., Caner, A.Y., (2018). Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 207-215.
- [3] Agrawal, S., Singh, K.K., Sarkar, P.K., (2014). Impact Damage on Fibre-Reinforced Polymer Matrix Composite – A Review. *Journal of Composite Materials*, 48(3), 317-332.
- [4] Roy, T., Chakraborty, D., 2008. Delamination in FRP laminates with holes under transverse impact, *Materials and Design* 29, 124–132
- [5] Zhao, Y., Liu, W., Seah, L.K., Chai, G.B., (2016). Delamination Growth Behavior of A Woven E-Glass/Bismaleimide Composite in Seawater Environment. *Composites Part B*, 106, 332-343.
- [6] Fidan, S., Avcu, E., Sınmazçelik, T. 2011. Cam fiber takviyeli polyester kompozitte tekrarlı darbe yüklemeleriyle oluşan hasar mekanizmaları, I. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu, 17-19 Kasım, İzmir, 1-12.
- [7] Esendemir, Ü., Şimşek, R., Saraç, M.F., (2021). Hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerine ve darbe davranışına fonksiyonellendirilmiş nanokil ilavesinin etkisi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(2), 800-806.
- [8] Luo, RK., The evaluation of impact damage in a composite plate with a hole, 2000. *Composites Science and Technology* 60, 49-58.
- [9] Junging, Z., Hongjian, Z., Xinyang, S., Yuhang, J., 2021. Evaluation on compressive properties of composite laminates with a hole reinforced by metal plate, *Composite Structures* 258, 113423.
- [10] Guo, Q., Zhang, Y., Li, D., Li, M., Sun, X., 2021. Tensile properties and failure mechanism of 3D woven composites containing holes of different geometries, *Thin-Walled Structures* 166, 108115.
- [11] Ayten, Aİ., Ekici, B., Güllüoğlu, AN., 2016. Effect of surface geometry on low-velocity impact behavior of laminated aramid-reinforced polyester composite, *Journal of Composite Materials*, 50(29), 4077–4091.
- [12] Gonzales, CR., Trujillo, EJ., Chavez, F., Ruiz, A., 2016. Low velocity impact response of composites and fiber metal laminates with open holes, *Journal of Composite Materials*, 797-810.
- [13] Karakuzu, R., Çalık, İ.C., Deniz, M.E., (2017). Tabakalı Kompozit Plakların Darbe Davranışı Üzerine Deniz Suyu Etkisinin Araştırılması. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi* 7(2/2), 1-12.
- [14] Sayer, M., 2009. Hibrit Kompozitlerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 134s, Denizli.
- [15] Amaro, AM., Reis, PNB., Moura, MFSF., Neto, MA., 2013. Influence of open holes on composites delamination induced by low velocity impact loads, *Composite Structures*, 97, 239-244.
- [16] Sabancı, E., Karakuzu, R., (2013). Effect of Embedded Delaminations on Impact Behavior of Laminated Composites. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(7) (IMSP 2013 Özel Sayı), 303-309.
- [17] Mathivanan, N.R., Jerald, J. (2010). Experimental Investigation of Woven E-Glass Composite Laminates Subjected to Low-Velocity Impact at Different Energy Levels. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 9(7): 643-652.